

Внедрение методов вибродиагностики качества способствует повышению надежности и темпа создания ГТД.

### Библиографический список

1. Карасев В.А., Ройтман А.Б. Предупреждение прочностных отказов машин вибродиагностическими методами. - Проблемы прочности, 1982, № 12, с.78-81.
2. Динамика авиационных газотурбинных двигателей /Под ред. И.А.Биргера и Б.Ф.Шорра. - М.:Машиностроение, 1981. - 232 с.
3. Сидоренко М.К. Вибродиагностический паспорт двигателя. - В сб.: Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. Куйбышев:КуАИ, 1978, вып. 5, с.141-146.
4. Карасев В.А., Максимов В.А., Сидоренко М.К. Вибрационная диагностика газотурбинных двигателей. - М.:Машиностроение, 1978. - 132 с.
5. Сидоренко М.К. Отражение технического состояния циклически симметричных узлов машин в спектрах вибросигналов. - В сб.:Вибротехника. Каунас:КПТИ, 1984, № 4.
6. Сидоренко М.К. Оценка интенсивности квазигармонических нагрузок в турбомашинах. - Проблемы прочности, 1979, № 8, с.20-24.
7. Плутенко Н.И., Сирченко Г.Т., Всинский В.М. Автоматическая система защиты ГТД при возникновении виброгорения. - В сб.: Конструкционная прочность двигателей: Тез. докл. Всесоюз. конференции. Куйбышев:КуАИ, 1980, с. 60.
8. Варжицкий Л.А., Камынин Н.А., Сидоренко М.К. Система автоматизированной обработки и распознавания виброакустических сигналов на базе М-6000/ Куйбышев. авиац.ин-т.- Куйбышев, 1980. - 19 с. - Рукопись деп. в ГОСИНТИ 15.05.80, № 77-80.

УДК 621.831

А.А.Тройников

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ  
НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛА МР

Применение цельнометаллических виброизоляторов из материала МР наиболее эффективно в виброзащитных системах машин и сооружений, ра-

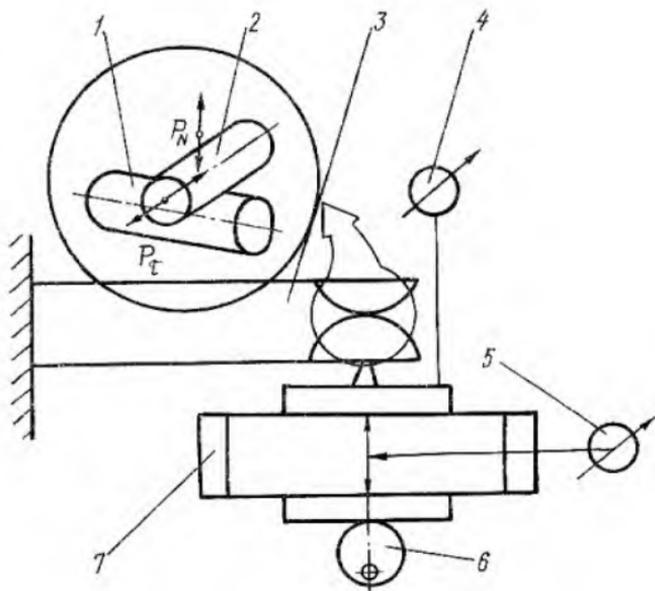
ботающих в экстремальных условиях: высокие уровни вибрации ( $100 \dots 200 \text{ м/с}^2$ ), большие ударные нагрузки (до  $1000 \text{ м/с}^2$ ), линейные ускорения ( $10 \dots 1000 \text{ м/с}^2$ ), высокие температуры, агрессивные среды, вакуум и радиоактивное излучение.

Надежность изделий из МР, а также их виброзащитные свойства (упругость, прочность, демпфирование, жесткость и др.) во многом определяются характером протекания процессов трения по контактным поверхностям отдельных элементов (витков спирали) как при малоцикловом нагружении, так и в процессе наработки. Для проектирования виброизолирующих и демпфирующих устройств на основе МР и прогнозирования их долговечности необходимо знать величину коэффициента трения между отдельными элементами, а также закон его изменения в процессе наработки.

В работах /1,2/ упругофрикционные характеристики контакта между элементами МР определяются путем разделения петли гистерезиса УДЭ на упругую и неупругую составляющие. При таком подходе величина коэффициента трения оценивается весьма приблизительно и далеко не во всей области допустимых деформаций МР. Кроме того, существующий метод не позволяет определить изменение коэффициента трения в условиях длительного циклического нагружения виброизоляторов, поскольку противоречит одному из основных выводов теории конструкционного демпфирования о неразрывной связи сил упругого и неупругого сопротивления в сложных нелинейных системах /3/.

Для определения коэффициента трения между элементами материала МР следует расчленить его сложную структуру на простейшие фрикционные пары, моделирующие механизм контактного взаимодействия витков спирали. Это позволит с помощью модели определить и распространить найденное значение коэффициента трения на всю область допустимых деформаций МР, поскольку из петли гистерезиса простейшей линейной фрикционной системы можно выделить упругую и неупругую составляющие. Последнее обстоятельство позволяет проследить изменение коэффициента трения в МР по мере наработки УДЭ.

Исходя из особенностей геометрической формы и характера взаимодействия элементов в МР модель трения представлена /4/ в виде двух цилиндрических стержней 1 и 2 (рис.1), неподвижно закрепленных с одной стороны и перекрещивающихся с другой. В точке контакта стержней приложена нагрузка  $P_N$ . Такая схема обеспечивает идентичность механизма контактного взаимодействия модели механизму контактного взаимодействия натуры, который заключается в соблюдении точечного контакта двух

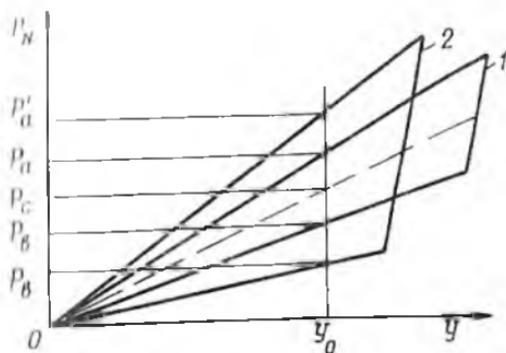


Р и с. 1. Модель трения материала МР

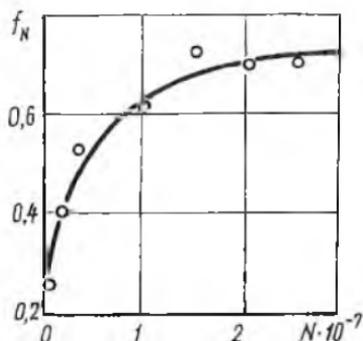
цилиндрических тел и их взаимном перемещении под действием касательной силы  $P_T$  при поперечном изгибе составной консоли 3.

Амплитуда перемещения свободного конца консоли устанавливалась величиной эксцентриситета кулачка 6, передававшего усилие в точку контакта стержней через динамометр 7. Величина нагрузки контролировалась преобразователем 5, а перемещение свободного конца консоли - преобразователем 4. Параметры контактирующих элементов (диаметр и длина стержней) определялись из условия равенства напряжений в точках контакта модельной и натурной пар трения. Характер взаимного перемещения и режим нагружения модели были приняты в соответствии с условиями моделирования, изложенными в работе /5/.

Изменение коэффициента трения между элементами модели при наработке определялось по изменению формы петли гистерезиса (рис.2) между начальным процессом 1 и, по истечении определенного числа циклов наработки, конечным процессом 2. Численные значения коэффициентов трения начального  $f$  и в процессе наработки  $f_N$  определялись по формулам, следующим из закона Амонтона (см. рис.2):



Р и с. 2. Процессы циклического деформирования модели трения



Р и с. 3. Изменение коэффициента трения между элементами материала МР при наработке виброизолятора

$$f = \frac{P_a - P_B}{2P_c}; \quad f_N = \frac{P'_a - P'_B}{2P'_c}$$

где  $P_c = \frac{P_a + P_B}{2} = \frac{P'_a + P'_B}{2}$  - условная упругая составляющая петель гистерезиса I и 2;

$P_a - P_B$  - удвоенное значение начальной силы трения между стержнями;

$P'_a - P'_B$  - удвоенное значение силы трения в процессе наработки.

Анализ трения в МР по результатам модельных испытаний (рис.3) показал, что при наработке свыше  $2 \cdot 10^7$  циклов происходит стабилизация коэффициента трения, при этом его величина увеличивается более чем в 1 раз.

Исследование процессов трения в МР методом моделирования позволяет максимально приблизиться к реальным условиям контактного взаимодействия между элементами и проследить изменение этого взаимодействия во времени. Принятая модель находится в соответствии с основными положениями теории конструкционного демпфирования и отражает механизм трения в МР как при первых циклах деформирования, так и в процессе наработки, когда характер взаимодействия между элементами изменяется в связи с износом контактирующих поверхностей.

## Библиографический список

1. Соيفер А.М. О расчетной модели материала МР. - Науч. тр./Куйбыш. авиац.ин-т, 1967, вып.30. Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов, с.8-16.
2. Шайморданов Л.Г. Расчет упругодемпфирующих характеристик МР при одноосном напряженном состоянии. - Науч.тр./Куйбыш. авиац.ин-т, 1978, вып. 5. Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов, с.10-16.
3. Калинин Н.Г. и др. Конструкционное демпфирование в неподвижных соединениях. - Рига: АН ЛатвССР, 1960. - 170 с.
4. Белоусов А.И., Бузицкий В.И., Тройников А.А. Прогнозирование упругофрикционных характеристик амортизаторов из материала МР. - В кн.: Конструкционная прочность двигателей: Тез.докл. Всесоюз.конф. Куйбышев:КуАИ, 1980, с.14-15.
5. Крагельский И.В., Виноградова И.Э. Коэффициенты трения. - М.:Машгиз, 1962. - 219 с.

УДК 539.4:621.45

В.И.Цейтлин, Д.Г. Федорченко

### ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНО-ЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ РЕАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В последнее время программы эквивалентно-циклических испытаний (ЭЦИ) ГТД планируются на основе анализа реальной эксплуатации самолетов. Испытательные циклы при этом по нагруженности основных деталей должны быть максимально приближены к обобщенным (осредненным) полетным циклам.

Указанный подход дал дополнительный толчок развитию методов планирования ЭЦИ, потребовал дополнительного анализа условий эксплуатации, влияния внешних факторов на напряженность и температурное состояние отдельных деталей двигателей. Большое прикладное и теоретическое значение имеют работы в этом направлении, выполненные под руководством академика АН СССР Н.Д.Кузнецова.

По конструкции ГТД можно разбить на две основные группы: двигатели с охлаждаемой турбиной и форсажной камерой; двигатели без фор-